

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

L'INFLUENCE DE L'ACTIVITÉ LINGUISTIQUE EN LIEN AVEC LE  
DÉVELOPPEMENT MOTEUR DE L'ENFANT ET DE L'ADOLESCENT DE 5 À  
18 ANS.

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DE LA MAÎTRISE EN KINANTHROPOLOGIE

PAR

RÉMI DESCHENEAUX-LEROUX

AOÛT 2016

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL  
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.07-2011). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

## REMERCIEMENTS

La réalisation de ce mémoire n'aurait été possible sans l'aide et l'appui de plusieurs personnes qui me sont chères. Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont permis de concrétiser ce projet. Tout d'abord, merci à ma chère femme, Marie-Eve, de m'avoir aidé et soutenu tout au long de cette aventure et qui a su m'épauler dans les moments les plus difficiles. Sans ta présence à mes côtés rien de tout ça n'aurait été possible. Ma future petite famille ne pourra qu'être extraordinaire avec une personne comme toi dans ma vie. Merci également à mon directeur de maîtrise, Victor Frak, qui m'a donné la chance de repousser mes limites et encouragé à avancer de ce projet. Votre expérience et votre soutien m'ont permis d'avancer tout au long de mon parcours. Un merci particulier à mon ami et collègue de maîtrise, David Labrecque, ton précieux temps et énergie ont été plus qu'utiles lors de ces deux années de collaboration. Je te souhaite bonne chance dans tous tes futurs projets, aussi nombreux soient-ils! Merci à ma mère, Lucie Descheneaux, des heures que tu as passées avec moi au primaire pour m'aider dans mes devoirs jusqu'à mes études universitaires, j'ai toujours pu compter sur ton soutien (et ta patience...). Pour finir, je tiens à dédier ces derniers mots à mon père, Sylvain Leroux, qui est décédé (trop tôt) durant mes études à la maîtrise, c'est également grâce à lui que j'ai trouvé l'énergie et la motivation pour mener à bien cette étape importante de ma vie.

Congrès Acfas. inc. 2016

Les données et résultats présentés dans ce mémoire ont été acceptés pour une présentation par affiche lors du Congrès de l'Acfas à Montréal au mois de mai 2016.

## TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	VI
LISTE DES TABLEAUX.....	VII
LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES .....	VIII
RÉSUMÉ .....	XI
INTRODUCTION .....	1
CHAPITRE I	
1.1 Question de recherche.....	3
1.2 Hypothèse .....	3
1.3 Limite du projet .....	4
CHAPITRE II	
2.2 Imagerie motrice (IM) .....	5
2.4 Maturation de la région pariétale.....	8
2.5 Représentation somatotopique.....	9
2.6 Développement de la préhension chez l'enfant .....	10
2.7 Langage et préhension .....	11
2.8 Sémantique du langage .....	13
CHAPITRE III	
MÉTHODOLOGIE.....	15
3.1 Participants .....	15
3.2 Instrumentation.....	16



3.3	Calibration de l'instrumentation .....	17
3.4	Procédures .....	18
3.5	Quantification et analyses .....	20
3.6	Exclusion des données aberrantes.....	21
3.7	Tests statistiques .....	22
3.7.1	Tests-T .....	22
3.7.2	ANOVA à mesures répétées .....	23
CHAPITRE IV		
	RÉSULTATS .....	25
CHAPITRE V		
	DISCUSSION.....	32
CHAPITRE VI		
	CONCLUSION .....	39
	RÉFÉRENCES .....	40
ANNEXE L'ÉCOUTE ACTIVE DE MOT D'ACTION CHEZ DES		
	PARTICIPANTS BRÉSILIENS .....	40
APPENDICE A FEUILLE D'IDENTIFICATION POUR LE TEST D'ÉCOUTE		
	ACTIVE ET DE PRÉHENSION. ....	42
	APPENDICE B TEST DE PRÉVALENCE D'EDINBURGH.....	44
APPENDICE C		
	LISTES DE MOTS.....	46
APPENDICE D PROCÉDURE POUR LE PROJET « CAPTEURS DE PRESSION »		
	.....	48
APPENDICE E		
	LETTRE ENVOYÉE AUX PARENTS POUR LE CONSENTEMENT .....	51

## APPENDICE F

TABLEAU D'ANALYSE STATISTIQUE.....	56
------------------------------------	----

## LISTE DES FIGURES

Figure	Page
Figure 2.1 Sakata et al. 1994 .....	7
Figure 2.3 Hauk 2004 .....	9
Figure 2.4 Forssberg et al. 1991 .....	11
Figure 2.5 Frak et al. 2010 .....	12
Figure 2.6 Résultat mot d'action vs non-action.....	12
Figure 3.1 Équipement de capteurs de force.....	15
Figure 3.2 Instrumentation Capteur de force .....	16
Figure 3.3 Calibration des capteurs .....	16
Figure 3.4 Position du participant lors de l'expérimentation .....	18
Figure 4.1 La différence de force de préhension entre le nom et le verbe chez l'enfant droitier.....	23
Figure 4.2 La différence de force de préhension entre le nom et le verbe chez l'adolescent droitier.....	25
Figure 4.3 Comparaison de la force de préhension entre l'enfant et l'adolescent lors de l'écoute du nom droit (ND).....	25
Figure 4.3 La comparaison de force de préhension entre les enfants et les adolescents lors de l'écoute du verbe droit (VD).....	26
Figure 6.1 Comparaison de la force de préhension entre le verbe et le nom chez les adolescents du Brésil .....	42



## LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
Tableau 4.1 Valeurs des tests-t lors de l'écoute du nom chez les enfants et les adolescents .....	27
Tableau 4.2 Valeurs des tests-t chez les enfants et les adolescents lors de l'écoute du verbe .....	28
Tableau 4.3 Résultat Post hoc LSD différence intra-groupe ND .....	29
Tableau 4.4 Résultat post hoc LSD intra-groupe VD .....	30
Tableau 4.5 Résultat Post hoc LSD intra-groupe .....	31

## LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

AIP : Aire intra-pariétale antérieure

CRER : Centre de réhabilitation et réadaptation du Brésil

M1 : Aire motrice primaire

SAP : Science de l'activité physique

UQAM : Université du Québec à Montréal

## LISTE DES SYMBOLES ET DES UNITÉS

N : Newton

mf: modulation de la force

mN : milinewton

ms : milliseconde

$p$  : valeur statistique

ddl : degré de liberté



## RÉSUMÉ

La région intra pariétale antérieure (AIP) permettant d'intégrer des informations provenant d'afférences sensorielles variées, telles que l'écoute de verbes d'action, contribuerait à un réseau favorisant l'interaction main-objet. La région pariétale contenant l'AIP commencerait son développement vers l'âge de 10 ans. Cette recherche consiste à comparer la variation de force de préhension d'un groupe d'enfants à celle d'un groupe d'adolescents lors de l'écoute active de verbes d'action et de non-actions. La recherche s'interroge sur le rapport fonctionnel différent entre les aires du langage et l'AIP en fonction de l'âge. La méthodologie consiste à faire écouter des listes de mots d'action (ex.: prendre) et de non-action (ex. : avion) aux participants qui tiennent des capteurs qui enregistrent la variation de force de préhension. La modulation de la force de préhension lorsque le mot d'action et de non-action apparaît a été comparée, et ce, entre les enfants et les adolescents. L'analyse des données permet d'observer une différence d'activité motrice lors de l'écoute d'un verbe d'action comparativement à l'écoute d'un mot de non-action. Toutefois, l'apport considérable de cette étude consiste au fait que les adolescents, comparativement aux enfants, ont une modulation de la force significativement plus grande lorsque le mot d'action est entendu. Ces résultats indiquent que la maturation de l'AIP modifie les liens avec les aires du langage en fonction de l'âge des participants.

**MOTS-CLÉS :** AIP, verbe d'action, écoute active, force de préhension, maturation, enfant, adolescent



## INTRODUCTION

Analyser et étudier le développement moteur chez l'être humain est essentiel afin de comprendre l'évolution de l'enfant jusqu'à l'âge adulte. L'enfance constitue une période à la fois complexe et fascinante, car la grande majorité des apprentissages s'y effectue. Plusieurs aspects moteurs du développement méritent que l'on s'y intéresse de plus près. Depuis quelques années, l'interaction entre le langage et la motricité constitue un domaine d'intérêt pour la communauté scientifique. Des études ont d'ailleurs documenté que les aires cérébrales impliquées dans l'activité motrice s'activaient lors de l'écoute de verbes d'action (Price, Wise, Watson, Patterson, Howard et Frackowiak, 1994 ; Tunik, Rice, Hamilton et Grafton, 2007). Les liens entre l'aire motrice primaire (M1) et l'activité linguistique sont un sujet récent au sein de la communauté scientifique, particulièrement lorsque l'on s'attarde à cette interaction chez l'enfant. L'implication de la région intra pariétale antérieure (AIP) a été mise de l'avant comme lien dans le traitement des afférences sensorielles. Elle permet notamment la liaison dans la fonction de préhension de la main (Desai et al., 2011 ; Sakata et al., 1995). L'AIP permettant d'intégrer des informations provenant d'afférences sensorielles variées telles que l'écoute de verbes d'action, elle contribuerait à un réseau favorisant l'interaction main-objet (Ramayya, Glasser et Rilling, 2010).

Plusieurs chercheurs ont récemment démontré que le développement du cerveau n'était pas linéaire. En effet, les liens entre les zones cérébrales s'effectuent à différents stades du développement moteur de l'enfant. (Casey, Jones et Somerville, 2011). Le développement du langage ainsi que de la motricité étant des aspects considérables dans l'évolution de l'enfant, ils méritent donc que l'on leur porte une

attention particulière. En ce sens, étudier l'influence du langage sur la force de préhension par le geste chez l'enfant permettra de mieux comprendre certaines techniques d'apprentissage, notamment l'imagerie motrice, c'est-à-dire la capacité des enfants à utiliser des modèles internes du mouvement pour contrôler leurs actions motrices exécutées et simulées (Guilbert et al. 2013). Le sujet de cette recherche portera sur l'interaction entre ces deux aspects (motricité et langage) au cours du développement de l'enfant. Ce projet novateur, une fois complété, permettra de mettre en lumière l'interaction entre l'aire motrice primaire et l'activité linguistique en fonction du développement normal de l'enfant.

Un atout considérable de ce projet de recherche est le matériel utilisé pour la collecte de données. Le dispositif expérimental a été développé au sein du Département de Science de l'activité physique (SAP) de l'UQAM. Cet équipement portatif a permis à l'équipe de chercheurs de se déplacer plus rapidement d'une école à l'autre plutôt que de faire appel au déplacement des participants au laboratoire. De plus, le coût de fabrication de cet équipement, notamment des capteurs de force, est nettement moindre que d'autres systèmes semblables utilisés lors de recherches antérieures. Parmi les nombreux avantages de cet équipement, on retrouve une calibration rapide et efficace lors du remplacement de pièces si nécessaire, de même qu'une accessibilité rapide à du matériel de remplacement. Ces facteurs sont avantageux comparativement au matériel similaire ayant été utilisé lors de tests effectués auprès des participants adultes dans des études antérieures (Aravena, P., Delevoye-Turrell, Deprez, Cheylus, Paulignan, Fraket Nazir, 2012 ; Frak, Nazir, Goyette, Cohenet Jeannerod, 2010).

## CHAPITRE I

### 1.1 Question de recherche

Le projet de recherche consistera à comparer la variation de force de préhension à l'aide de capteurs de force entre un groupe d'enfants et un groupe d'adolescents, lors de l'écoute active de verbes d'action et de mots de non-action (nom). L'analyse des données permettra d'observer s'il y a une différence d'activité motrice lors de l'écoute d'un verbe d'action comparativement à l'écoute d'un mot de non-action, et ce, en fonction de l'âge. On pourra ainsi répondre à la question suivante : est-ce qu'il y a un rapport fonctionnel différent entre les aires du langage et l'AIP en fonction de l'âge du participant?

### 1.2 Hypothèse

À l'aide des données obtenues lors de l'expérimentation, nous devrions observer une modulation évidente de la réponse motrice après l'âge de 10 ans, puisque ce serait à cet âge que commencerait le développement de la région pariétale, dont fait partie l'AIP (Toga, Thompson et Sowell, 2006). Suivant cette logique, la modulation de la réponse motrice des enfants de moins de 10 ans devrait être moins évidente lorsque le verbe d'action est entendu.

### 1.3 Limite du Projet

- Les groupes d'âge ciblé par le projet sont 5-10 ans pour les enfants et 13-17 ans pour les adolescents. Il y a un écart important entre les groupes d'âge afin de s'assurer que les résultats soient le plus représentatifs de la population possible. Par contre, les résultats de cette recherche ne s'appliqueront pas aux enfants âgés de 11 à 13 ans.
- Puisque les participants sélectionnés auront le français comme langue maternelle, les résultats ne pourront être généralisés qu'aux enfants francophones.
- Puisque les enfants présentant un diagnostic de trouble d'apprentissage auront été exclus, aucune information ne sera obtenue relativement aux enfants ayant un tel profil.



## CHAPITRE II

### 2.1 Rationel de l'approche

Cette section sera consacrée à faire une synthèse de différents concepts et articles nécessaires à l'élaboration du projet.

### 2.2 Imagerie motrice (IM)

La toute première définition de l'imagerie motrice a été proposée par Ribot (1912) :

*En termes psychologiques, c'est la reviviscence spontanée ou provoquée de sensations kinesthésiques simples ou complexes éprouvées antérieurement. En termes physiologiques, c'est l'excitation des zones corticales (quelles qu'elles soient) où aboutissent les sensations du mouvement. Ces images ne peuvent être que des mouvements qui commencent, mais restent internes, sans se réaliser en mouvement objectif.*

De nombreuses recherches se sont intéressées à l'imagerie interne de l'enfant, notamment Guilbert et ses collègues (2013). Ces derniers ont recensé différentes visions scientifiques de ce concept. Plusieurs théories du développement de l'imagerie motrice et de la simulation motrice chez l'enfant sont mises de l'avant, en passant de



Piaget (1956) jusqu'aux auteurs actuels qui s'intéressent à cette question (Guilbert *et al.*, 2013).

Piaget (1956) fut l'un des précurseurs dans ce domaine. Il démontra que le traitement d'informations perceptives immédiates dans le but d'anticiper certaines actions apparaissait vers l'âge de 7 ans. Il s'agit du passage de la pensée pré-opératoire à la pensée opératoire. La pensée pré-opératoire étant une phase lors de laquelle l'enfant traite les informations au fur et à mesure qu'elles surviennent, il s'agit donc du traitement des données immédiates (Piaget, 1956). Ensuite se développe la capacité de se représenter mentalement une série de données, ce qui pourrait mener à une émergence de l'imagerie motrice.

Ces études confirment que le développement de l'IM commence à l'enfance et se poursuit jusqu'à l'adolescence. Plusieurs stades de développement sont par la suite identifiés par des recherches qui démontrent l'évolution de la capacité à imager une action motrice sans la reproduire (Guilbert *et al.*, 2013). Il est à noter que l'IM et la réalisation d'une action motrice activent les mêmes régions du cortex cérébral (Jeannerod et Frak, 1999).



(1994) a décrit l'activité de signaux visuels, des signaux moteurs, ainsi que des réponses visuo-motrices chez le singe. Les recherches sur des humains ont démontrés que l'AIP pourrait contribuer à une représentation spatiale dédiée au guidage visuel de la préhension de la main (Desai, Binder, Conant, Manoet Seidenberg, 2011).

### 2.3 Maturation de la région pariétale

Les recherches de Toga (2006) démontrent que le processus de maturation du cerveau est complexe et continu. À l'aide d'imagerie par résonnance magnétique structurale (IRM), Toga a été en mesure de numériser, l'évolution de la maturation du cerveau à partir de l'enfance et les résultats confirment que la maturation de la région pariétale se produit vers l'âge de 11-13 ans:

*The first areas to mature were those with the most basic functions, such as those processing the senses and movement. Areas involved in spatial orientation and language (parietal lobes) followed, around the age of puberty (11–13 years). Areas with more advanced functions – integrating information from the senses, reasoning and other 'executive' functions (e.g. prefrontal cortex) – matured last, in late adolescence. This sequence also provided evidence that phylogenetically older cortical areas mature earlier than the more recently evolved higher-order association cortices, which integrate information from earlier maturing cortex.*

Il est important de noter que les recherches de Toga (2006) portent sur le développement normal de l'enfant et que ces résultats ne peuvent être généralisés à une population qui éprouve des troubles au niveau cognitif.



## 2.4 Représentation somatotopique

Les travaux de Hauk (2004) permettent de voir par IRM fonctionnelle que lors de la lecture passive de mots d'action se référant à une action de la face, des bras ou des jambes (par exemple : lécher, prendre, coup de pied) l'aire motrice primaire (M1) est activée. Les résultats démontrent aussi que le sens référentiel de mots d'action a un lien avec l'activation du cortex moteur et prémoteur. Les images de l'IMRf indiquent donc qu'un mot exprimant une action stimule les mêmes aires cérébrales que si l'action du mot était exécutée.

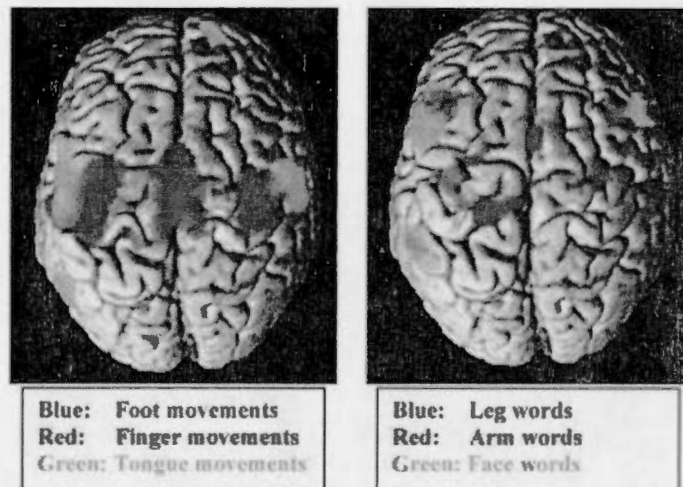


Figure 2.2 La représentation somatotopique (Hauk 2004.). La représentation somatotopique de l'action lors de la lecture de mot d'action. La figure représente l'activation des aires motrices primaires similaires lors de la lecture de mot d'action et l'exécution du mouvement

## 2.5 Développement de la préhension chez l'enfant

Plusieurs études ont démontré que le niveau de force exercé lors de la prise d'un objet qui était relié à un capteur de force variait en fonction de l'âge des participants Forssberg, Eliasson, Kinoshita, Johanssonet Westling (1991) (Forssberg, Kinoshita, Eliasson, Johansson, Westlinget Gordon, 1991 ; Johanssonet Cole, 1992). En effet, les enfants en bas âges génèrent une plus grande variation de force lors de la prise de contact avec l'objet (*pre-load phase*) que les adultes. Des expérimentations effectuées auprès de participants âgés de quelques mois jusqu'à l'âge adulte ont indiqué que les adultes généraient une force de préhension, en fonction de l'augmentation de la charge, plus automatisée et presque invariable entre les essais alors qu'ils devaient soulever à plusieurs reprises un petit objet entre le pouce et l'index. Ainsi, les enfants en bas âges, moins de deux ans, utilisaient une force de préhension plus variable lorsque la charge augmentait. Le niveau de préhension augmentait de façon importante lorsque le niveau de charge se modifiait, ce qui signifie que la coordination entre le niveau de préhension et la charge augmente proportionnellement avec l'âge du participant.

La figure 2.5 ci-dessous représente les résultats de l'expérimentation sur la variabilité de la force de préhension de (Forssberg 1991) lors de la prise en main d'un objet de 200g. Les différentes mesures analysées sont la force de préhension (GF), la force de charge (LF), la position verticale (POS) et le taux de la force de préhension (DGF) pour 5 essais de soulèvement de l'objet. Les résultats sur 5 enfants et un adulte démontrent qu'il y a une plus grande variabilité de la force de préhension chez les enfants en bas âge et que plus l'âge du participant augmente, plus la force se stabilise.



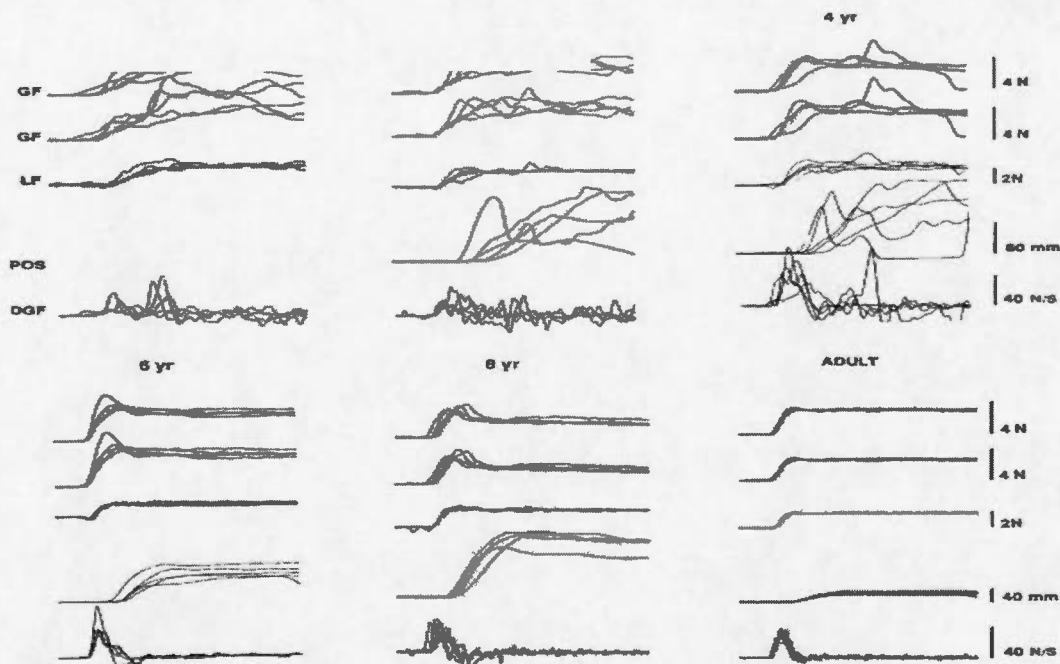


Figure 2.3 La figure représente les données obtenues de la GF, LF, POS et DGF de cinq enfants et un adulte avec un objet dont le poids est de 200g ( Forsberg et al. 1991)

## 2.6 Langage et Préhension

En 2010, Frak et ses collègues ont proposé une nouvelle approche afin de démontrer en l'interaction entre le langage et la motricité. L'objectif de cette étude était d'observer la variation de force de préhension lors de l'écoute de verbes d'action chez l'adulte en temps réel. Pour ce faire, le participant tenait un cylindre avec un capteur de force intégré (figure 2.5), tout en ayant les yeux fermés et le bras tendu. Une liste de mots en lien avec une action manuelle (verbe) ou pas (mot de non-action) était écoutée par le participant. Ces chercheurs ont observé un changement dans la force de

préhension lors de l'écoute du verbe d'action lié à une action manuelle (ex: prendre) comparativement à un mot de non-action (ex: grillage). Ces résultats ont permis de constater les liens étroits entre le langage et la force de préhension à l'aide de capteurs de force en fonction du temps (figure 2.6). Le mot d'action devient significativement différent du mot de non-action (nom) à 250 millisecondes (ms) jusqu'à 450 ms.

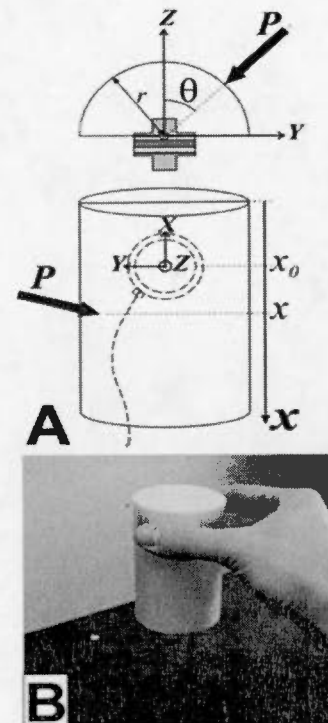


Figure 2.4 Frak et al. 2010

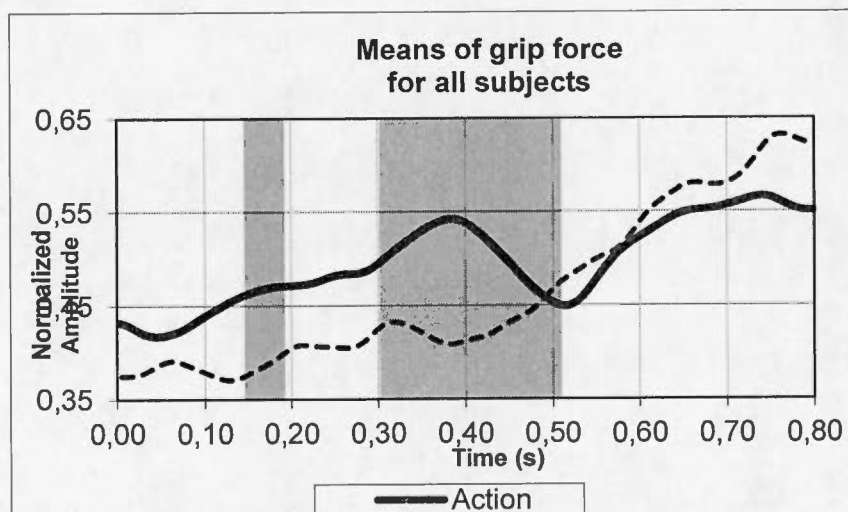


Figure 2.5 Résultat significatif des moyennes entre le mot d'action et de non-action

## 2.7 Sémantique du langage

Les liens cérébraux pariétaux frontaux nécessaires à la compréhension et l'exécution du mouvement font partie du processus sémantique du langage. Ce processus linguistique se diviserait en 3 phases selon les travaux de Friederici, 2002 qui permettrait la compréhension, ou le décodage, d'un mot. La première phase se produirait dans les 100-300 ms qui permettrait d'identifier la structure et la catégorie d'un mot. Ensuite, la deuxième phase, permettrait le traitement lexical sémantique et morphosyntaxique se situe entre 300-500 ms. La troisième phase (500-1000 ms) est utilisée pour intégrer l'information du stimulus. Selon les travaux de Hauket Tschentscher (2013) le processus sémantique de l'action, donc la représentation mentale d'une activité motrice, correspondrait à la deuxième phase du traitement lexical. Ce qui indiquerait un traitement lexico-sémantique du stimulus vers les 400 ms.



## CHAPITRE III

### MÉTHODOLOGIE

#### 3.1 Participants

La population ciblée pour ce projet a consisté en des enfants âgés de 5 à 10 ans et de 13 à 18 ans. La variation de force de préhension entre un groupe d'enfants de 5 à 10 ans et un groupe de 13 à 18 ans a été comparée. Le recrutement des participants s'est principalement déroulée dans des écoles primaires et secondaires de la Commission scolaire de Laval. Le projet a été accepté par le comité d'éthique de l'UQAM (No du certificat d'éthique : A-140010&561644). Les responsables du projet, de même que la Commission scolaire, se sont assurés d'avoir le consentement des parents ou des tuteurs des enfants avant d'effectuer la collecte de données. Les participants sélectionnés étaient francophones (langue maternelle), fréquentaient un milieu scolaire francophone et utilisaient le français à la maison. Un court questionnaire sur les habitudes linguistiques des participants leur a été administré (Appendice). De plus, la direction de l'école ou le titulaire de classe des enfants a fourni des renseignements à savoir si un enfant présentait des antécédents d'atteinte neurologique ou de problèmes de compréhension des consignes. Dans une telle éventualité, l'enfant aurait été exclu du projet, mais aucun enfant ne présentait ce type de problématique. Finalement, un test de préférence manuelle, le test d'Edinburgh (Oldfield, 1971) (Appendice), a été utilisé afin de sélectionner des participants étant droitiers.



### 3.2 Instrumentation

Le matériel utilisé pour la collecte de données consistait en un système de capteurs de force développé par le département de Sciences de l'activité physique (SAP) de l'UQAM sous la supervision du Pr. Victor Frak. Ce système expérimental permet d'effectuer des tests auprès de participants dans différents milieux puisqu'il est portable, comparativement à celui utilisé lors de recherches antérieures auprès d'adultes (Aravena et al., 2012, (2014) ; Frak et al., 2010). Un élément important à mentionner est que ce système est uniaxial, contrairement à celui utilisé

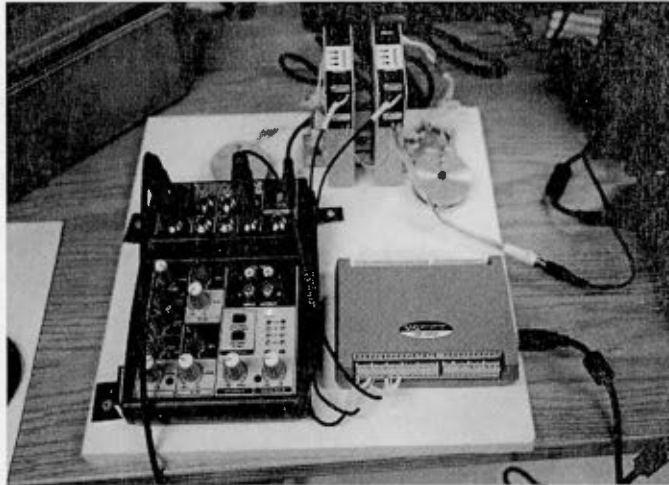


Figure 3.2 Équipement de capteurs de force

dans les recherches mentionnées ci-dessus qui comportait trois axes. Suite à l'analyse des résultats, ces auteurs avaient conclu que les autres axes étaient négligeables. Le système est composé d'une rondelle d'aluminium de 5 cm et de 1,5 cm d'épaisseur, munie d'une cellule de force. Le capteur est connecté à un amplificateur *Honeywell DV10L*. La charge maximale que le capteur peut supporter est 1kg. Un amplificateur est relié à une carte d'acquisition (*Measurement Computing*) série 1608G et celle-ci transfère les données vers un ordinateur qui les analyse à l'aide du logiciel *Daysylab*. Les détails sur le type d'analyse et des données sont développés dans la section Analyse.

Une console de son (*Eurorack MX802A* de marque *Behringer*) et des écouteurs (*Sennheiser*) permettent d'amplifier le son. Ce son est généré et traité par l'ordinateur à l'aide du logiciel *Audacity* et est par la suite relié à la console de son. Les données de variations de force et de son sont notées par le logiciel

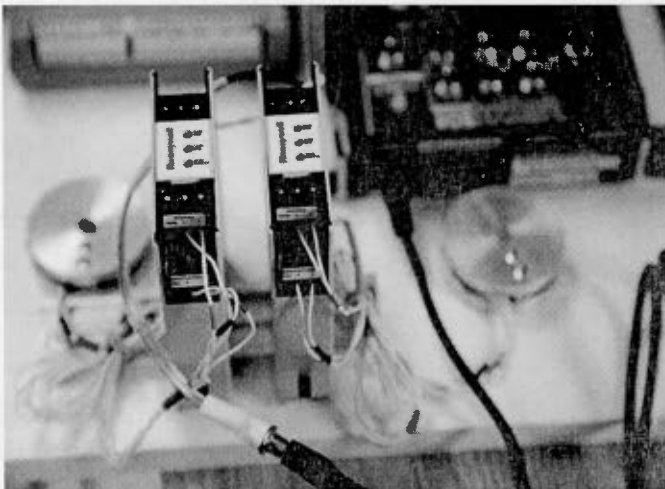


Figure 3.3 Instrumentation capteur de force

*Daysylab* pour qu'elles puissent éventuellement être transférées vers le logiciel Excel.

### 3.3 Calibration de l'instrumentation

La calibration de l'équipement a été effectuée avant le début des procédures. Cette étape a permis de s'assurer de la linéarité des mesures. Une progression de la charge (25g, 50g,

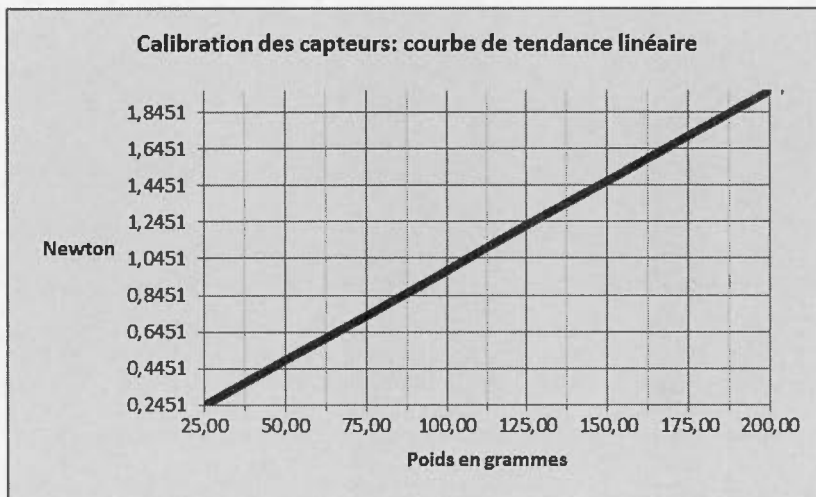


Figure 3.4 Calibration des capteurs

100g, 200g) a été utilisée afin de vérifier que les mesures obtenues en Newton et en Volt étaient proportionnelles au poids. Une erreur de linéarité de 0,02% était connue sur les capteurs avec une amplitude du signal de  $1.0 \pm 10\%$  mV/V. Les étapes de la calibration sont décrites dans l'appendice.

### 3.4 Procédures

Le matériel nécessaire à la collecte de données (capteurs de force, carte d'acquisition, carte de son, etc.) étant situé à l'UQAM, il était prévu originalement que les tests soient effectués dans le laboratoire. Cependant, le matériel étant transportable, il est donc devenu possible d'effectuer la collecte de données directement dans les écoles. Cette méthode a permis d'avoir accès plus facilement aux participants, en plus d'offrir un contexte davantage sécurisant et connu à ceux-ci. En effet, l'objectif était d'offrir aux enfants en bas âges un milieu connu afin de favoriser une meilleure concentration et d'éviter de les placer dans un environnement davantage intimidant, soit un laboratoire de recherche. De plus, il était convenu qu'aucun impact négatif sur le participant n'était attendu, outre un léger inconfort dû à la prise du capteur en suspension (55g) lors de l'écoute des listes. Le titulaire de classe (ou la personne responsable du service pédagogique) avait donné son accord concernant le moment où les tests pouvaient être effectués, et ce, afin que les participants n'accumulent pas de retard dans le cheminement pédagogique prévu pour cette journée.

Le projet a été soumis au comité d'éthique de l'UQAM. Par la suite, des demandes ont été envoyées aux différents services de recherche et de direction de la Commission scolaire de Laval. Lorsque ceux-ci ont accepté les modalités du projet, les écoles primaires et secondaires qui avaient démontré un intérêt à collaborer au projet ont été contactées. Finalement, un formulaire de consentement expliquant la recherche et stipulant que le participant pouvait cesser sa participation au projet de recherche en



tout temps a été élaboré afin qu'il puisse être remis aux correspondants. Ce consentement a été signé par un parent (ou tuteur) avant de commencer les tests (Annexe). Aucune compensation pour le participant n'était prévue, outre un jus.

Pour le déroulement de la collecte de données, le participant était invité à prendre place sur une chaise devant une table. La hauteur de la chaise et de la table était ajustée en fonction de la taille du participant, et ce, afin de s'assurer qu'il soit confortablement assis pour la durée du test (figure 8). L'enfant utilisait une paire d'écouteurs qui était reliée à la carte de son et il tenait le capteur de force dans sa main droite avec une

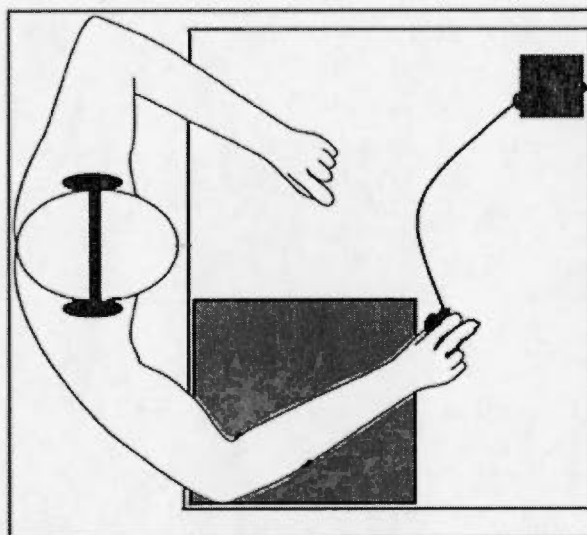


Figure 3.5 Position du participant

prise tridigitale (pouce, index et majeur). Son avant-bras droit était appuyé sur une surface confortable (style tapis de mousse). Le coude et le poignet devaient toucher la surface, le participant devait être confortable dans cette position et tenter de maintenir cette position le plus possible. Le capteur de force devait être tenu en suspension et ne devait pas toucher aux autres doigts. Le participant devait également fermer les yeux de façon à se concentrer sur la tâche demandée. Il comptait ensuite silencieusement le nombre de fois où un mot donné survenait durant l'écoute de la liste.

À la fin de la liste de lecture, le participant devait indiquer combien de fois il avait entendu le mot cible. Il est demandé aux participants de compter le nombre de fois où un mot est entendu afin de s'assurer que le niveau d'attention soit maintenu tout au long de l'écoute. En moyenne, le nombre de fois où un mot apparaissait, toutes

catégories confondues, variait entre 10 et 12 répétitions. La durée des listes était d'environ 1 minute 30 secondes.

Quatre listes de mots étaient présentées à chacun des participants (deux listes de verbes et deux, de mot de non-action). Ces listes étaient choisies de façon aléatoire par le logiciel Excel. Chaque verbe représentait une action liée à la main ou au bras (ex.: écrire, découper, pincer, etc.) alors que les mots de non-action n'avaient aucune association motrice spécifique (ex. : grillage, avion, tempête, etc.) (Frak *et al.*, 2010). Avant de débiter l'écoute d'une liste de mots, le participant devait comprendre et connaître le mot proposé, cet aspect concernait principalement les plus jeunes, mais par souci d'uniformité, le protocole était appliqué à l'ensemble des participants. Pour ce faire, les chercheurs demandaient à l'enfant d'exécuter l'action qui allait être entendue dans la liste de mots (ex. : lors du verbe 'pincer', le participant devait se pincer l'avant-bras afin de démontrer qu'il comprenait le sens du mot.) La même procédure était utilisée pour la compréhension de mot de non-action. Les mots ont été sélectionnés en lien avec la base de données lexicale et de fréquence en français (New, Pallier, Ferrandet Matos, 2001). La durée moyenne des mots était de 684 ms avec 1000 ms d'intervalle entre chaque mot. Une pause d'environ deux minutes était effectuée entre chaque liste pour limiter la fatigue du participant.

### 3.5 Quantification et analyses

Dans un premier temps, les données, obtenues à 1000 Hz ont été converties en Newton par le système *Daysylab*, et une extraction des données de 1300 millisecondes (ms) a été effectuée pour chaque stimulus dans la liste de mots. Les données représentent la modulation de la force de préhension. Donc, les 300 ms précédant le mot cible étaient découpées, tout comme les 1000 ms suivant ce mot cible. L'analyse a été exécutée sur les données de -200 ms à 0 et de 100 ms à 800 ms à partir du début

du mot cible (stimulus). Les données allant de -200 ms à 0 ms avant le début du mot ont servi de *baseline* (ligne de base) en produisant une moyenne des valeurs obtenues. À l'aide de cette ligne de base, une comparaison avec la modulation de la force lors de l'écoute du mot a pu être effectuée. Ainsi, lors des tests-T, la ligne de base pour chacun des participants a été soustraite de la moyenne de la modulation de la force enregistrée lors des ms ciblées. Cette normalisation des données a permis de constater que les modulations dues au stimulus à partir de la ligne de base étaient similaires pour tous les participants, et ce, peu importe quels étaient le type de mot cible et l'âge, du participant. Les données obtenues entre 100 ms et 800 ms ont été séparées en plusieurs fenêtres de 50 ms, pour un total de 14 fenêtres selon le protocole d'analyse de Aravena, Pia *et al.* (2014).

### 3.6 Exclusion des données aberrantes

Afin d'exclure les données aberrantes, l'utilisation des critères similaires à Nazir, T. *et al.* 2016 ont été employés. Ces travaux sont les fruits d'une collaboration internationale pilotée par Victor Frak. Ces critères stipulent que lorsque plus de 30% de données d'un participant dépassent 200 mN, elles étaient considérées aberrantes et donc elles ont été exclues des analyses dont il est question dans cette recherche. Également, les données pour lesquelles une augmentation rapide de la force, c'est-à-dire, une modulation de plus de 100 mN en moins de 100 ms, dans le laps de temps se situant entre 100 ms à 800 ms, ont aussi été exclus des analyses. Deux participants du groupe enfant ainsi que deux, du groupe adolescent ont donc été exclus des analyses en considérant les critères d'exclusion ci-haut mentionnés. À ce point, les données de 25 participants ( $n=25$ ), soit 13 enfants et 12 adolescents, pouvaient être analysées.

Par la suite, en effectuant des tests pour obtenir les moyennes, il a été constaté que certains participants influençaient la moyenne du groupe avec des données



significativement plus fortes que les autres. Ainsi, un test de rejet des données aberrantes a été effectué, soit le Thompson Tau. Ce test permet de détecter les données aberrantes avec l'utilisation d'une table pour comparer les données à la moyenne ainsi qu'à l'écart type du groupe.

$$\text{Données aberrantes} = |x - \bar{x}| > \text{Tau} * \sigma$$

La valeur Tau suivait la formule suivante :

$$\text{Tau} = \frac{t*(n-1)}{\sqrt{n}*\sqrt{n-2+t^2}}$$

La valeur  $t$  avec un alpha de 0,05 et d'un degré de liberté de  $n-2$  a été utilisée par la fonction « LOI.STUDENT.INVERSE » du logiciel Excel. Le Thompson Tau modifié a été appliqué à chaque fenêtre de 50 ms pour un total de 14 fenêtres. En fonction de ce test, un participant est exclu de l'analyse statistique lorsqu'il présente plus de 40% de données aberrantes. Donc, au total, deux enfants et quatre adolescents ont été exclus à cette étape pour finir avec un échantillon de 19 participants. La moyenne d'âge du groupe enfant était de 7,4 (écart type de 1,6) et pour le groupe adolescent, la moyenne d'âge l'écart type était de 14,8 (écart type de 1,5).

### 3.7 Tests statistiques

#### 3.7.1 Tests-T

À l'aide du logiciel SPSS, des tests-t ont été effectués afin de comparer les moyennes de modulation de force de préhension entre le mot de non-action et le verbe

chez les groupes d'enfants et d'adolescents, et ce, par rapport à la ligne de base. Ainsi, chaque moyenne obtenue pour les 14 fenêtres a été comparée à la ligne de base.

### 3.7.2 ANOVA à mesure répétée

Par la suite une ANOVA à mesure répétée avec post-hoc *Least Significant Difference* (LSD) (pour les moyennes) a été effectuée pour analyser les interactions entre le groupe d'enfants et le groupe d'adolescents avec les mots d'action et de non-action dans chacun des groupes ainsi que les 14 fenêtres de 50 ms.



## CHAPITRE IV

### RÉSULTATS

Au total, 35 participants ont effectué les tests complets, 15 dans le groupe d'enfants pour qui l'âge se situait entre 5 et 10 ans et 20 adolescents pour le groupe d'âges 13 à 17 ans. Dans le groupe adolescent, six participants ont été exclus des analyses dû à des problèmes techniques de matériel (ex. format de Hz trop élevé).

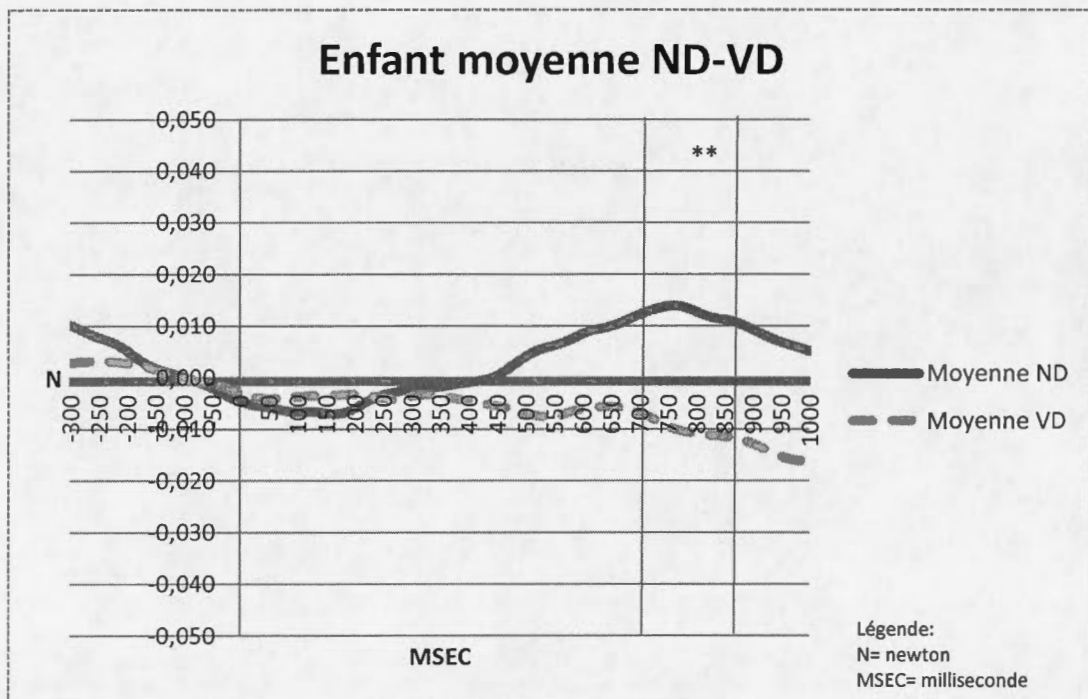


Figure 4.1 La différence de force de préhension entre le nom et le verbe chez l'enfant droitier

La figure 4.1 représente la comparaison entre les moyennes de force du mot de non-action (ND) et du verbe (VD) chez les enfants droitiers. Lors de l'écoute du verbe, les résultats du test-t n'indiquent aucune modulation de force significative lorsque l'on compare la ligne de base à la moyenne. Il existe donc peu de modulation de force lorsque le verbe est entendu par les enfants. Par contre, en ce qui concerne la moyenne de la force de préhension lorsqu'un mot de non-action est entendu, on observe une modulation significative  $t(11) = 2,915$ ,  $p < 0,05$ . (les tableaux d'analyse se retrouvent en appendice)

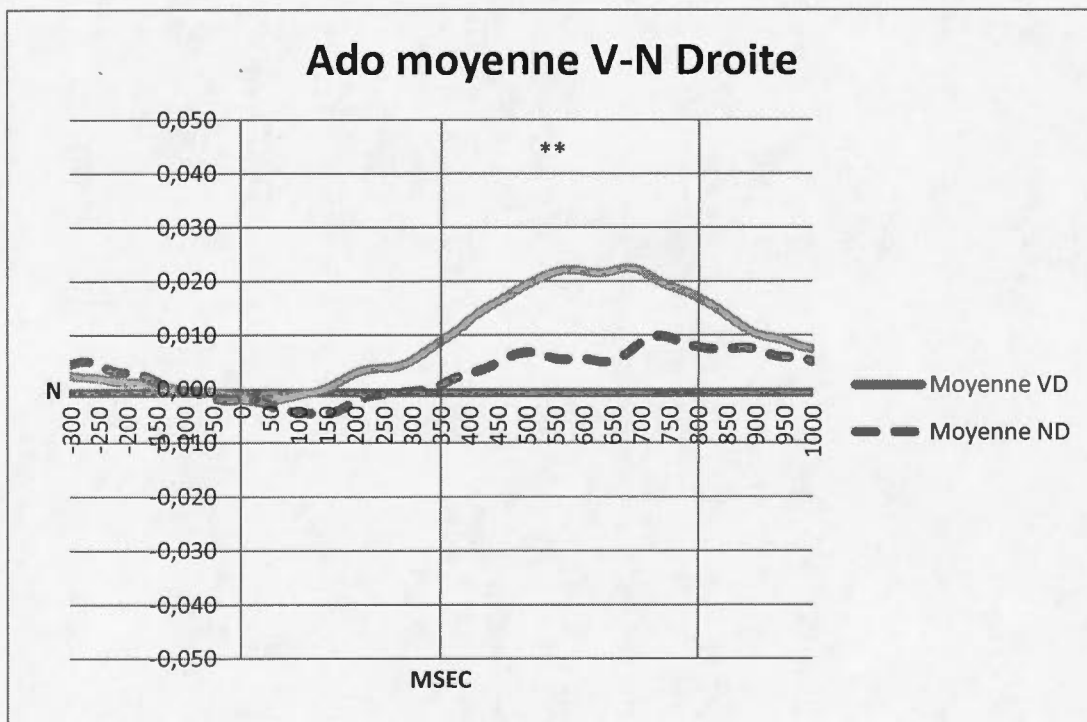


Figure 4.2 La différence de force de préhension entre le nom et le verbe chez l'adolescent droitier

\*\* valeurs significatives entre 350ms et 800 ms pour le VD



Les données recueillies après du groupe adolescents indiquent que les moyennes de modulation de force lors de l'écoute du VD et du ND varient de celles obtenues chez le groupe d'enfants. Les analyses indiquent que la modulation de force de préhension du VD se distingue de manière significative de la ligne de base  $t(8) = 7,972, p < 0,05$  (Figure 4.2). En effet, l'accentuation de la courbe se développe de 300 ms à 400 ms et continue d'augmenter de 400ms à 800 ms. La moyenne de force du ND présente une modulation plus faible que le VD. Les valeurs obtenues du ND présentent peu de variation par rapport à de la ligne de base.

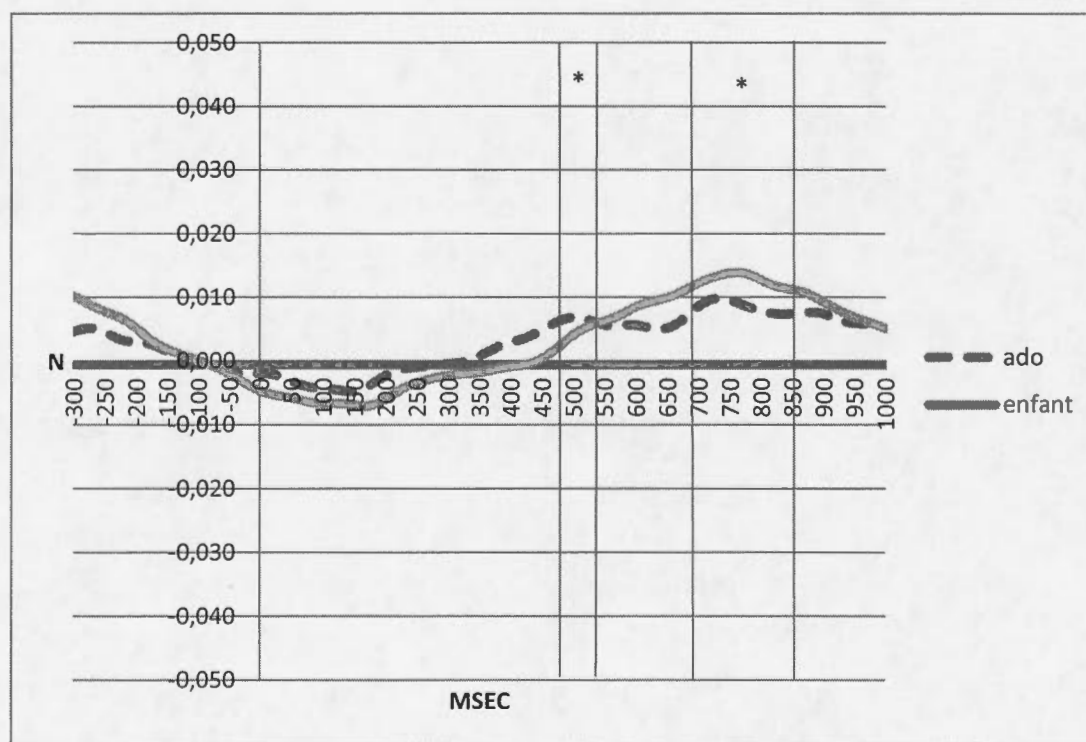


Figure 4.3 Comparaison de la force de préhension entre l'enfant et l'adolescent lors de l'écoute du ND

\* Valeur significative chez l'adolescent entre 450 ms et 500 ms ainsi qu'entre 700 ms et 750 ms lors de l'écoute du nom

\*\*Valeur significative chez l'enfant entre 650ms et 800 ms lors de l'écoute du nom

La comparaison des moyennes de forces du ND entre le groupe d'enfants et le groupe d'adolescents (Figure 4.3) permet de voir une similitude dans les courbes. Le groupe enfant présente des données légèrement plus élevées de la modulation force de préhension que le groupe adolescent par rapport à la ligne de base. Les 200 premières ms du groupe enfant (les fenêtres 100-150 ms et 150-200 ms) indiquent des valeurs négatives significatives par rapport à la ligne de base,  $t(11) = -4,737$ ,  $p < 0,05$ . Les moyennes des fenêtres de 650 ms à 800 ms sont significativement différentes chez le groupe enfant. Le groupe adolescent présente deux fenêtres significatives (450-500ms et 700-750ms) (voir Figure 4.2).

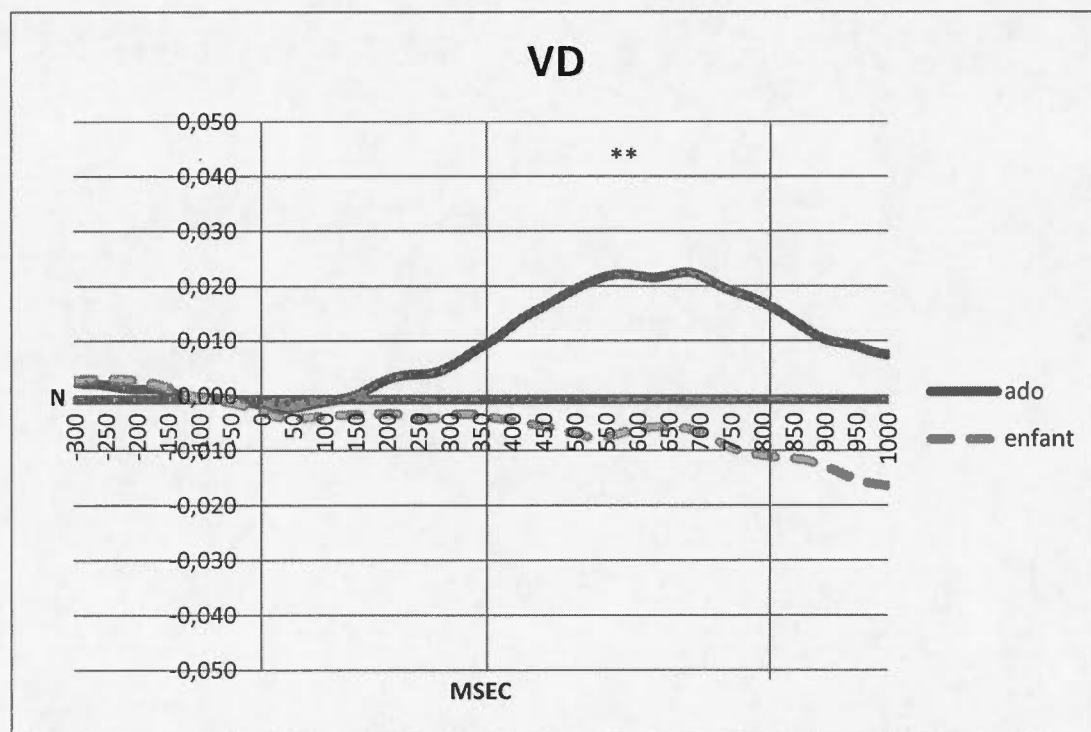


Figure 4.4 La comparaison de force de préhension entre les enfants et les adolescents lors de l'écoute du VD

\*\* valeur significative du VD entre 350 ms et 800 ms

La comparaison des moyennes de force entre les enfants et les adolescents lors de l'écoute du VD (Figure 4.4) représente les différences de modulation de la force de préhension entre les deux groupes. Les données suggèrent que le groupe adolescent présente une modulation de la force significativement plus élevée par rapport à la ligne de base  $t(8) = 7,972$ ,  $p < 0,05$  comparativement au groupe enfant. Ce dernier ne présente aucune valeur significative lors de l'écoute du VD.

Tableau 4.1 Valeurs des tests-t lors de l'écoute du mot de non-action chez les enfants et les adolescents

Mot	Temps	Enfant	Ado
ND	100-150	-0,001	0,148
	150-200	-0,003	0,284
	200-250	0,135	0,540
	250-300	0,462	0,750
	300-350	0,639	0,992
	350-400	0,742	0,489
	400-450	0,913	0,064
	450-500	0,633	0,008
	500-550	0,272	0,051
	550-600	0,162	0,163
	600-650	0,083	0,269
	650-700	0,036	0,177
	700-750	0,015	0,050
	750-800	0,012	0,063

Le tableau 4.1 présente les résultats des divers tests-t qui ont été effectués chez le groupe enfant et le groupe adolescent lors de l'écoute du mot de non-action. Les deux premières fenêtres du groupe enfant (100ms à 200 ms) présentent des valeurs significatives négatives par rapport à la ligne de base  $t(11) = -4,737$ ,  $p < 0,05$  et les

moyennes des trois dernières fenêtres sont significativement plus élevées (650 ms à 800 ms)  $t(11)=3,039, p<0,05$ ). Le groupe adolescent présente deux fenêtres avec des différences significatives non consécutives de la force (450ms à 500 ms  $t(8)=3,624, p<0,05$  et 700ms à 750 ms  $t(8)=2,368, p<0,05$ ).

Tableau 4.1 valeurs des tests-t chez les enfants et les adolescents lors de l'écoute du verbe

		Enfant	Adolescent
VD		Enfant	Ado
	100-150	0,219	0,720
	150-200	0,284	0,344
	200-250	0,365	0,057
	250-300	0,394	0,067
	300-350	0,512	0,023
	350-400	0,473	0,003
	400-450	0,397	0,001
	450-500	0,314	0,001
	500-550	0,239	0,000
	550-600	0,286	0,000
	600-650	0,376	0,000
	650-700	0,372	0,001
	700-750	0,260	0,001
	750-800	0,179	0,003

Les résultats des tests-t entre le groupe enfant et le groupe ado lors de l'écoute du VD par rapport à la ligne de base permettent de constater que le groupe adolescent est significativement différent de la ligne de base à partir de 300ms et jusqu'à 800 ms



(tableau 4.2). Le groupe enfant ne présente aucune donnée significative relativement à la ligne de base lorsque le VD est entendu.

Les résultats du test de sphéricité de Mauchly n'a pas été rempli pour que le facteur temps  $\chi^2(90) = 502,039$ ,  $p < 0,001$  et pour l'interaction mot\*temps  $\chi^2(90) = 383,572$   $p > 0,001$ . Néanmoins, l'utilisation d'un degré de liberté a été corrigée par l'utilisation de la sphéricité de Greenhouse-Geisser ( $\epsilon = ,141$  pour l'effet temps et l'effet mot\*temps = ,182)

Les résultats significatifs sont l'interaction mot\*temps ( $F=9,611$  ddl=(1)  $p < 0,001$ ), le facteur temps ( $F=12,283$ , ddl=(13),  $p < 0,001$ ), l'interaction mot\*temps\*groupe ( $F=16,227$ , ddl=(2,371),  $p < 0,001$ ).

Tableau 4.2      Résultat Post hoc LSD différence intragroupe ND

Différence entre les groupes		
Mot de non-action (ND)	fenêtre	main droite
	100-150	0,471
	150-200	0,373
	200-250	0,423
	250-300	0,662
	300-350	0,713
	350-400	0,539
	400-450	0,414
	450-500	0,466
	500-550	0,857



	550-600	0,801
	600-650	0,562
	650-700	0,512
	700-750	0,574
	750-800	0,441

Le tableau 4.3 permet de voir qu'il n'y a pas de différence significative entre les groupes lorsque l'on s'intéresse au ND. Ce qui veut dire que la modulation de force de préhension entre les enfants et les adolescents n'est pas influencée par l'âge des participants de cette condition. (les valeurs représentées dans le tableau sont les *p-value*)

Tableau 4.3      Résultat post hoc LSD intragroupe VD

Différence entre les groupes			
Mot d'action (VD)	fenêtre	droite	Valeur significative
	100-150	0,405	
	150-200	0,210	
	200-250	0,140	
	250-300	0,152	
	300-350	0,116	
	350-400	0,043	ado
	400-450	0,013	ado
	450-500	0,005	ado
	500-550	0,001	ado

	550-600	0,001	ado
	600-650	0,003	ado
	650-700	0,003	ado
	700-750	0,004	ado
	750-800	0,006	ado

L'analyse démontre que le groupe des adolescents présente une modulation de la force de préhension significativement plus élevée que le groupe des enfants lorsque le VD est entendu. En comparant les deux groupes, celui des adolescents présente une modulation de la force significative ( $p < 0,05$ ) à partir de 350 ms jusqu'à 800 ms.

Tableau 4.4      *Résultat Post hoc LSD intragroupe*

Différence en le mot de non-action et le verbe					
Droite	Fenêtre	Enfant	Valeur Sign	ado	Valeur Sign
	100-150	0,258		0,225	
	150-200	0,256		0,148	
	200-250	0,745		0,209	
	250-300	0,726		0,218	
	300-350	0,697		0,109	
	350-400	0,506		0,079	
	400-450	0,291		0,043	Verbe
	450-500	0,066		0,030	Verbe
	500-550	0,007	nom	0,010	verbe
	550-600	0,005	nom	0,005	verbe
	600-650	0,006	nom	0,010	verbe
	650-700	0,005	nom	0,021	verbe

	700-750	0,002	nom	0,114
	750-800	0,001	nom	0,204

La comparaison entre le mot de non-action et le verbe permet de voir les différences de modulation de force chez les différents groupes lorsque le mot cible est entendu. Le groupe enfant présente des valeurs significatives pour le nom entre les fenêtres 500 ms et 800 ms ( $p < 0,05$ ). Le groupe adolescent présente quant à lui des valeurs significatives pour le verbe entre les fenêtres 400 ms à 700 ms. L'analyse permet de constater que le groupe adolescent devient significatif 100 ms avant le groupe enfant. Les deux groupes présentent le même nombre de fenêtres significatives, donc six fenêtres pour un total de 300 ms, avec un décalage de 100 ms pour le groupe enfant et les groupes ne réagissent pas au même stimulus de la même façon.

## CHAPITRE V

### DISCUSSION

Ce projet de recherche novateur dans le domaine du développement moteur en lien avec l'activité linguistique a permis de mettre en lumière de nouvelles données sur ce sujet. L'apport significatif de ce projet a mis de l'avant que les liens entre le langage et l'activité motrice se modifient en fonction de l'âge. L'analyse des résultats obtenus démontre que l'écoute active d'un verbe représentant une action permet une modulation significativement plus importante ( $p < 0,05$ ) chez le groupe des adolescents par rapport au groupe des enfants (tableau 4.4). Lorsque le verbe est entendu par le groupe adolescent, la force de préhension se module davantage que le groupe enfant pour un même stimulus. Les résultats démontrent également que le groupe adolescent développe une modulation de la force de préhension plus significative lorsque le verbe est entendu comparativement au mot de non-action (tableau 4.5). Ces données semblent soutenir les travaux de Frak et al. 2010, Aravena et al. 2012, Aravena, 2014 qui avancent que le rapport fonctionnel intime entre l'écoute de verbe et l'exécution d'une action motrice se situe dans des aires cérébrales semblables. En lien avec les recherches portant sur le traitement des afférences sensori-motrices par rapport à des stimulations linguistiques à connotation motrice (Desai et al, 2010; Desai et al. 2011), on constate que les résultats obtenus appuient l'implication de l'aire intrapariétale (AIP) dans ces deux domaines. Le groupe adolescent présentant les mêmes



caractéristiques que les adultes au niveau de la maturation de l'aire pariétale du cerveau, selon les travaux de (Toga et al. 2006), semble être en mesure d'utiliser les aires cérébrales nécessaires à la simulation motrice de l'action. Conséquemment, les résultats de modulation de la force de préhension indiquent que le groupe enfant ne réagit pas de manière significative à un stimulus auditif de mot d'action comme les adolescents (Tableau 3 et 6). Les fenêtres d'interaction significative correspondraient au processus sémantique de l'action, donc à la représentation mentale d'une activité motrice (Hauk, O. et Tschentscher, N. 2013). Les auteurs de cette étude soutiennent que le traitement lexico-sémantique intervient dans le processus de simulation motrice qui apparaîtrait vers les 400 ms. Étant donné que l'AIP n'a pas atteint sa pleine maturité, les enfants ne moduleraient pas l'activité linguistique en activité motrice comme les adolescents, considérés comme l'équivalent d'un adulte en terme de maturation de l'AIP.

Le groupe enfant se distingue du groupe par sa réaction motrice lors de l'écoute du mot de non-action. Les résultats suggèrent une modulation de la force de préhension significative lorsqu'un que le ND est entendu (tableau 4.1). Cependant, aucune différence significative entre le groupe enfant et le groupe adolescent n'a été démontré lors de l'écoute du ND dans une ANOVA inter-groupes (tableau 4.3). Afin d'expliquer ces résultats, on peut s'appuyer sur les recherches de Mazoyer B et al. (2014) qui avancent que le langage crée une activité cérébrale et ce, pour tout type de stimulus confondu (action et non-action). Cette approche, combinée au fait que selon les recherches sur le processus d'acquisition du langage, les enfants apprennent les noms avant les verbes (Mestres-Missé, Rodriguez-Fornellset Münte, 2010), peut expliquer la réaction motrice lors de l'écoute d'un mot. Selon des auteurs Mestres-Missé et Rodriguez-Fornellset, le nom ferait référence à des concepts plus concrets chez l'enfant alors que le verbe aurait un rôle de liaison des concepts davantage abstraits. Ainsi, ceci signifierait que l'apprentissage des noms avant les verbes serait responsable de la modulation de force de préhension chez les enfants, mais que par la suite, ce serait le



verbe qui prendrait le dessus sur le comportement moteur. De plus, si l'on considère qu'à l'intérieur du groupe enfant, on observait une modulation de la force de préhension dans le mot de non-action, on peut supposer que la capacité du mot de non-action d'engendrer une modulation de la force de préhension devient négligeable plus les liens pariéto-frontaux mûrissent.

Les résultats obtenus au cours de ce projet de recherche permettent de constater les différences entre les groupes d'âge lors de phases clés de leur développement physiologique. L'hypothèse de départ élaborée à la suite de la question de recherche démontre qu'il existe des différences de modulation de la force de préhension entre le groupe des enfants et celui des adolescents lors de l'écoute active de mot d'action. Il est donc envisageable que la maturation de la région pariétale puisse contribuer à modifier le comportement moteur des participants lors d'une stimulation linguistique.



## CHAPITRE VI

### CONCLUSION

Les recherches entre l'activité linguistique et la motricité demeurent un sujet d'actualité au sein de la communauté scientifique qui s'intéresse aux interactions observables chez l'être humain (voir Annexe). Les résultats obtenus dans ce projet de recherche pourraient ouvrir la voie sur de nouvelles pistes dans ce domaine. L'hypothèse de recherche semble être confirmée par les résultats obtenus. En effet, il a été démontré que les adolescents modulent l'activité motrice de manière plus évidente que les enfants lors qu'un mot d'action est entendu. Ainsi, les liens entre les aires du langage et l'AIP (liens pariétal-frontal) utilisés par les adolescents lors de l'écoute active de mot d'action seraient en partie responsables de la modulation de la force de préhension par rapport aux enfants.

Les suites possibles de ce projet pourraient s'orienter vers des recherches utilisant l'électroencéphalographie (EEG) afin d'observer l'activation des aires cérébrales lors de l'écoute active de mot d'action et de non-action chez les enfants et adolescents. Ces recherches permettraient de cartographier et mettre en lumière les liens qui existent entre les aires du langage et de l'M1 lors de phases clés du développement du cerveau chez les participants. Également, des recherches sur le langage ont mené à l'utilisation de phrases ayant une action motrice afin d'étudier le comportement moteur des participants (Tatjana A. Nazir, 2016). L'utilisation de phrases comme stimulus, comparativement à l'écoute de mot isolé dans une liste, permet de mettre en contexte

l'action indiquée (ex. : Éric prend la bouteille d'eau posée sur la table) pour ensuite analyser la modulation de force lorsque le mot d'action est entendu. Cette approche constitue une voie d'exploration intéressante dans un contexte de développement moteur et de maturation cérébrale.

Les résultats obtenus dans ce projet permettront également une réflexion sur les techniques d'enseignement en utilisant la simulation motrice comme outils pédagogiques auprès des enfants et adolescents. Cette approche pourrait aider des jeunes ayant des difficultés à cheminer dans leur parcours scolaire et ainsi les outiller davantage dans leur réussite scolaire.

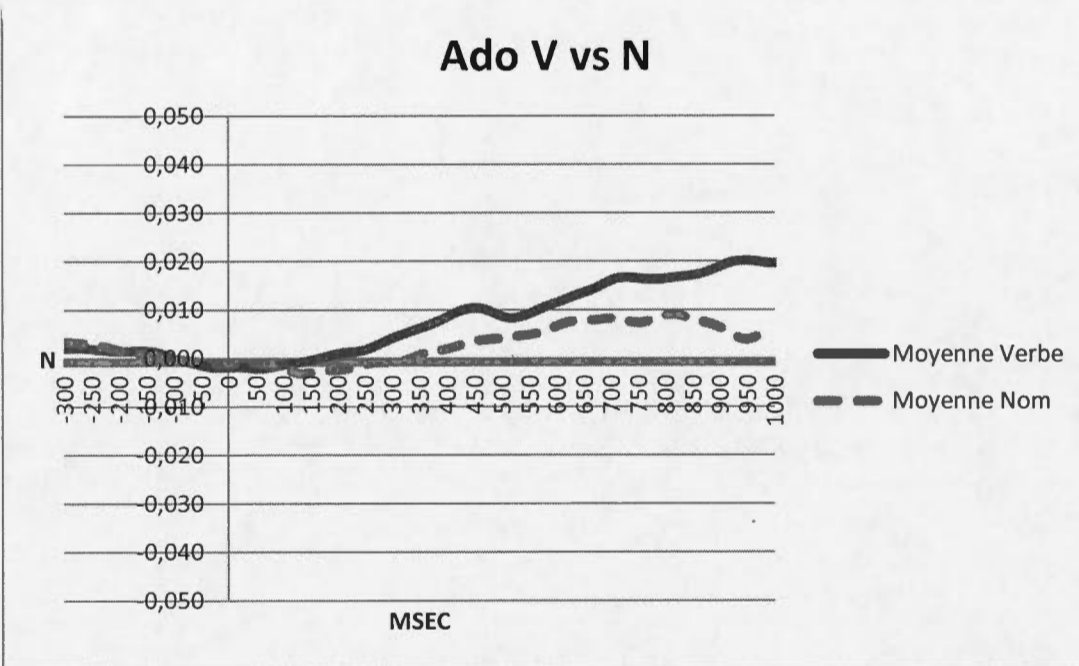


## ANNEXE

### **L'écoute active de mot d'action chez des participants brésiliens**

Un projet de recherche s'intéressant aux liens entre le langage et la motricité a été mis en place au Brésil à l'institution de réadaptation (CRER) située à Goiânia en collaboration avec l'UQAM sous la supervision du Pr. Victor Frak. Une équipe de chercheurs de l'UQAM, dont l'auteur de ce projet, ont contribué à la réalisation de cette collaboration. Leur contribution a permis d'installer et de calibrer directement sur le site du CRER un équipement de collecte de données construit au département SAP similaire à celui utilisé pour cette recherche. Le projet au CRER étant toujours en cours de recherche, certaines données prometteuses ont été obtenues par le groupe de chercheur de l'UQAM. Plus de 180 participants, âgés entre 5 et 18 ans, ont déjà effectué des expérimentations utilisant une méthodologie similaire à celle employée dans le projet de ce mémoire. Les données présentées dans le graphique ci-dessus représentent les résultats de 15 adolescents brésiliens âgés entre 13 ans et 18 ans qui suivirent le même protocole expérimental que celui utilisé dans ce projet de recherche. Cependant l'expérimentation s'est déroulée en bimanualité, c'est-à-dire que le participant prenait des capteurs de force dans ses deux mains lors de l'écoute de listes de mots. Pour des raisons de continuité logique avec les analyses présentées dans ce mémoire, on a utilisé seulement la main droite pour l'analyse des moyennes avec la ligne de base.

Figure 6.1 La comparaison entre le mot de non-action et le verbe chez les adolescents



Les données recueillies chez les participants brésiliens permettent de constater que la courbe du verbe est différente de celle du mot de non-action (figure 6.1). Les moyennes de force utilisées pour les courbes de nom et verbe se distinguent de la ligne de base. Les moyennes de force de préhension du verbe semblent s'éloigner davantage de la ligne de base que les moyennes de force du mot de non-action. On observe dans ces courbes la même tendance que les adolescents ayant participé au projet de recherche présenté dans ce mémoire. De futures analyses statiques permettront des observations plus objectives des données et mettront en lumière les liens possibles de bimanualité avec le langage.

## APPENDICE A

### **Feuille d'identification pour le test d'écoute active et de préhension.**

Participant # :

Prénom : \_\_\_\_\_

Âge : \_\_\_\_\_

Sexe : \_\_\_\_\_

Pourcentage de prévalence manuelle : \_\_\_\_\_ %

\*voir test Edinburgh

Liste 1 (nom) : \_\_\_\_\_

Liste 2 (verbe) : \_\_\_\_\_

Liste 3 (verbe) : \_\_\_\_\_

Liste 4 (nom) : \_\_\_\_\_

Commentaires sur la méthodologie :

## APPENDICE B

### Test de prévalence d'Edinburgh

Faites un « + » dans la colonne appropriée. Si vous pouvez faire l'action des deux mains, mettez un « + » dans chaque colonne. Si vous ne pouvez faire l'action de l'autre main, à moins d'y être forcé, vous mettez « ++ » dans la case de la main préférée.

Tâche	Main gauche préférée	Main droite préférée
Écrire		
Dessiner		
Lancer		
Découper avec des ciseaux		
Se brosser les dents		
Utiliser un couteau (sans fourchette)		
Utiliser une cuillère		
Balayer (main du haut)		



Frotter une allumette (main qui tient l'allumette)		
Ouvrir une boîte (main sur le couvercle)		
Total des signes +		

**((colonne de droite – colonne de gauche)/nombre total de signes)\*100=**

**((\_\_\_\_\_ - \_\_\_\_\_)/\_\_\_\_\_)\*100=\_\_\_\_\_**

## APPENDICE A

### LISTES DE MOTS

Nom	Temps (msec)	Nb. de lettres	Nb. de syllabes	Fréquence
aigle	570	5	1	9,00
avion	538	5	2	34,71
banquise	749	8	2	1,00
barrière	854	8	2	12,48
bosquet	635	7	2	1,77
canoë	612	5	3	1,29
canyon	754	6	2	0,58
caverne	775	7	2	4,90
cerise	758	7	2	2,48
chambre	738	7	1	231,23
chateau	635	7	2	3,52
chevalet	738	8	3	3,35
écluse	779	6	2	1,90
étoile	736	6	2	32,42
falaise	824	7	1	3,39
grillage	874	8	2	5,00
grotte	546	6	1	12,35
hêtre	603	5	1	3,10
iceberg	860	7	2	0,77
licorne	793	7	2	1,10
monument	705	8	3	8,61
moquette	754	8	2	7,97
moulin	447	6	2	14,52
mûrier	630	6	2	0,35
oseraie	647	7	3	0,29
penderie	535	8	3	1,39
pommier	459	7	2	5,35
prairie	575	7	2	9,29
rambarde	875	8	2	1,32
requin	563	6	2	1,29
sentier	666	7	2	16,39
tempête	770	7	2	17,42
terrain	561	7	2	61,87
toison	588	6	2	3,42
vitrine	790	7	2	11,42
*Moyenne	683,89	6,77	2,00	15,06
*Écart-type	119,15	0,94	0,54	39,59

Verbe	Temps (msec)	Nb. de lettres	Nb. de syllabes	Fréquence
agiter	658	6	3	6,68
arroser	667	7	3	2,55
astiquer	763	8	3	1,16
balayer	612	7	3	4,19
brosser	701	7	2	1,65
colorier	641	8	3	0,32
déchirer	787	8	3	5,16
découper	672	8	3	3,81
dessiner	677	8	3	9,74
enfouir	887	7	2	1,90
épiler	658	6	3	0,68
faucher	694	7	2	2,06
frapper	624	7	2	21,19
gratter	663	7	2	4,94
griffer	663	7	2	1,39
jeter	586	5	2	38,77
jongler	687	7	2	0,94
mendier	687	7	2	1,81
montrer	647	7	2	66,61
peigner	554	7	2	0,81
pianoter	677	8	3	0,19
pincer	578	6	2	2,35
prendre	701	7	1	256,16
racler	607	6	2	1,06
râper	670	5	2	0,23
saler	586	5	2	0,39
savonner	777	8	3	0,77
scier	743	5	1	2,39
secouer	752	7	2	8,00
serrer	607	6	2	13,42
signer	755	5	2	9,23
soulever	798	8	3	11,45
tordre	626	6	1	2,90
tricoter	703	8	3	1,77
vernir	861	6	2	0,39
*Moyenne	684,83	6,77	2,29	13,92
*Écart-type	77,22	1,00	0,62	44,05



## APPENDICE D

### **Procédure pour le projet « Capteurs de pression »**

(Utilisation DasyLab)

1. Mettre les 2 senseurs en position verticale.
2. Faire une lecture des valeurs obtenues du module « Brut »
3. Ajuster le zéro des amplificateurs, à l'aide du tournevis, par la vis  
« Fine Zero »
4. Mettre les 2 senseurs en position horizontale.
5. Faire une lecture des valeurs obtenues du module « Brut ».
6. Ajuster le gain des amplificateurs, à l'aide du tournevis, par la vis « Gain » de façon  
à ce que les 2 senseurs aient le même gain.
7. Répéter les étapes 1 à 6, au besoin.
8. Lorsque les valeurs obtenues sont stables, refaire une lecture des valeurs obtenues  
du module « Brut » en position horizontale.
9. À l'aide du module mathématique « Offset », inscrire la valeur obtenue (pour enlever  
le poids du dessus du senseur). Le module  
« Vérif 0 » (doit être à  $\pm 0,0000$  V)
10. Placer les 2 poids de 100 g. sur les senseurs.

11. Multiplier par .1 g par la valeur de voltage obtenue du module « Vérif.0 » pour chacun des amplificateurs.

12. Inscrire les résultats obtenus dans le module mathématique « Kg » (vous savez maintenant 1 V vaut combien de grammes).

13. Le module « N » permet de transposer les grammes en Newton  
( $F=ma$ ,  $9,81 = \text{accélération}$ ).

14. Le module « Vérification » permet de visualiser les valeurs en Newton.

15. Remettre les 2 senseurs en position verticale.

16. Avant chaque début de prise de la part du sujet, noter la valeur obtenue pour chacun des senseurs.

## APPENDICE E

### LETTRE ENVOYÉ AUX PARENTS POUR LE CONSENTEMENT



#### Identification du participant:

Date de naissance: \_\_\_\_\_ Âge: \_\_\_\_\_

No. de dossier: \_\_\_\_\_ Code: \_\_\_\_\_

**TITRE DU PROJET : Transfert interhémisphérique de l'orientation et de la force de la prise d'objet avec ou sans activité linguistique.**

#### RESPONSABLE :

**Victor FRAK, Professeur. Département de Kinanthropologie. UQAM.**

**Tél. : (514) 987-3000, poste 4407**

#### REPRÉSENTANTS DU RESPONSABLE :

**Rémi Descheneaux-Leroux– Tél. : (514) 987-3000, poste 4407.**

**David Labrecque– Tél. : (514) 987-3000, poste 4407.**

#### *DESCRIPTION DU PROJET*

**L'objectif principal de cette étude est d'observer le changement de force au niveau de la main (préhension) lors de l'écoute de verbes d'action et de noms.**

### *NATURE ET DURÉE DE VOTRE PARTICIPATION*

**Le déroulement du projet sera de demander au participant de tenir un capteur de force dans une main et de compter le nombre de fois ou un mot donné est entendu. La durée moyenne de la liste sonore est d'environ 2 minutes 30 secondes. L'expérimentation sera effectuée quatre fois avec la main gauche et quatre fois avec la main droite dans la même séance pour une durée moyenne de 30 minutes.**

**Les expérimentations se dérouleront au sein de l'école, sur l'heure du dîner ou après les heures de classe selon les disponibilités du participant.**



### **AVANTAGES PERSONNELS POUVANT DÉCOULER DE VOTRE PARTICIPATION**

**Il n'y a pas davantage direct à participer à ces sessions d'évaluation. Toutefois, le participant contribuera à l'avancement des connaissances.**

### **INCONVÉNIENTS PERSONNELS ET RISQUES POUVANT DÉCOULER DE VOTRE PARTICIPATION**

**Le fait de tenir le capteur de force (55g) durant plusieurs minutes pourrait engendrer une certaine fatigue au niveau de la main. Une pause sera proposée au participant afin d'éviter cette fatigue.**

**Il est entendu que la participation à ces évaluations ne fait courir aucun risque que ce soit au participant.**

### **RETRAIT DE LA PARTICIPATION AU PROJET**

**La participation au projet est sur une base libre et volontaire. Il est également entendu que le participant peut, à tout moment, mettre un terme à sa participation à ce projet.**

### **CONFIDENTIALITÉ**



**Tous les renseignements personnels recueillis sur le participant au cours de l'étude seront codifiés afin d'assurer leur confidentialité. Ces données seront conservées sous clé à l'UQAM par le responsable de l'étude pour une période de cinq (5) ans après la fin de l'étude. Elles seront détruites par la suite. Seuls les membres de l'équipe de recherche y auront accès. En cas de présentation de résultats de cette recherche pour des fins d'enseignement, de communication scientifique ou de publication, rien ne pourra permettre l'identification du participant.**

#### **AUTORISATION D'UTILISER LES RÉSULTATS ET GARANTIE D'ANONYMAT**

Vous acceptez que l'information recueillie puisse être utilisée pour des fins de communications scientifiques, professionnelles et d'enseignement. Il est entendu que l'anonymat sera respecté à votre égard lors de toute communication de résultats.



## CONSENTEMENT

La nature de l'étude, les procédés utilisés, les risques et les bénéfices que comporte ma participation ou celle de mon enfant à cette étude ainsi que le caractère confidentiel des informations qui seront recueillies au cours de l'étude m'ont été expliqués.

J'ai eu l'occasion de poser toutes les questions concernant les différents aspects de l'étude et de recevoir des réponses à ma satisfaction.

Je, soussigné(e), accepte volontairement de participer ou que mon enfant participe à cette étude.

### Clause de responsabilité

*Notre projet a reçu l'approbation du Comité institutionnel d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'UQAM (CIÉR). Si vous désirez obtenir des informations sur les responsabilités des chercheurs au plan de l'éthique de la recherche ou formuler une plainte, vous pouvez faire valoir votre situation, vous pouvez contacter la présidence du Comité, par l'intermédiaire de son secrétariat au numéro (514) 987-3000 # 7753 ou par courriel à [CIEREH@UQAM.CA](mailto:CIEREH@UQAM.CA). En acceptant de participer à cette étude, je ne renonce à aucun de mes droits ni ne libère les chercheurs, le commanditaire ou les institutions impliquées de leurs obligations légales et professionnelles.*

Une copie signée de ce formulaire d'information doit m'être remise.

NOM DU PARTICIPANT ou

SIGNATURE

DU PARENT (TUTEUR)

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

NOM DU CHERCHEUR OU

DE SON REPRÉSENTANT

SIGNATURE

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

TÉLÉPHONE: (514) 482-3000 poste 4407    TÉLÉCOPIEUR (514) (514) 987-6616

Fait à \_\_\_\_\_  
201 \_\_\_\_\_

Le \_\_\_\_\_,



### Engagement du chercheur

Je, soussigné(e), \_\_\_\_\_, certifie (a) avoir expliqué au (à la) signataire intéressé(e) les termes de la présente formule, (b) avoir répondu aux questions qu'il (elle) m'a posées à cet égard et (c) lui avoir clairement indiqué qu'il (elle) reste, à tout moment, libre de mettre un terme à sa participation au projet de recherche décrit ci-dessus.

\_\_\_\_\_  
—  
Signature du responsable du projet  
ou de son représentant

Fait à \_\_\_\_\_, le \_\_\_\_\_,  
201 \_\_\_\_\_

**Les responsables du projet peuvent être rejoints à l'UQAM.  
Département de Kinanthropologie. 141 Avenue du Président Kennedy, QC,  
H2X 3X8**

Téléphone: (514) 987-3000 poste 4407. Télécopieur (514) 987-6616

(À ÊTRE COMPLÉTÉ EN TROIS EXEMPLAIRES)

## APPENDICE F

### TABLEAU D'ANALYSE STATISTIQUE

Résultat enfant droitier

Test sur échantillon unique						
	Valeur de test = 0					
	t	ddl	Sig. (bilatéral)	Moyenne	Ecart type	Moyenne erreur standard
N-D 100-150	-4,737	10	,001	-,007	,005	,001
N-D 150-200	-3,864	10	,003	-,007	,006	,002
N-D 200-250	-1,628	10	,135	-,005	,009	,003
N-D 250-300	-,765	10	,462	-,003	,012	,004
N-D 300-350	-,484	10	,639	-,002	,014	,004
N-D 350-400	-,339	10	,742	-,001	,013	,004
N-D 400-450	-,112	10	,913	,000	,013	,004
N-D 450-500	,493	10	,633	,002	,014	,004
N-D 500-550	1,163	10	,272	,005	,015	,005
N-D 550-600	1,508	10	,162	,007	,016	,005
N-D 600-650	1,924	10	,083	,009	,016	,005
N-D 650-700	2,421	10	,036	,011	,015	,005
N-D 700-750	2,915	10	,015	,013	,015	,004
N-D 750-800	3,039	10	,012	,014	,015	,004



Test sur échantillon unique						
	Valeur de test = 0					
	t	ddl	Sig. (bilatéral)	Moyenne	Ecart type	Moyenne erreur standard
V-D 100-150	-1,313	10	,219	-,004	,009	,003
V-D 150-200	-1,131	10	,284	-,003	,010	,003
V-D 200-250	-,948	10	,365	-,004	,012	,004
V-D 250-300	-,892	10	,394	-,004	,015	,004
V-D 300-350	-,680	10	,512	-,003	,017	,005
V-D 350-400	-,747	10	,473	-,004	,018	,005
V-D 400-450	-,886	10	,397	-,005	,019	,006
V-D 450-500	-1,061	10	,314	-,006	,019	,006
V-D 500-550	-1,253	10	,239	-,007	,020	,006
V-D 550-600	-1,128	10	,286	-,007	,020	,006
V-D 600-650	-,926	10	,376	-,006	,021	,006
V-D 650-700	-,934	10	,372	-,006	,021	,006
V-D 700-750	-1,194	10	,260	-,008	,022	,007
V-D 750-800	-1,445	10	,179	-,010	,024	,007

Résultat statistique pour les adolescents droitier

	t	ddl	Sig. (bilatéral)	Moyenne	Ecart type	Moyenne erreur standard
N-D 100-150	-1,626	7	,148	-,005	,008	,003
N-D 150-200	-1,160	7	,284	-,004	,009	,003
N-D 200-250	-,644	7	,540	-,001	,006	,002
N-D 250-300	-,332	7	,750	-,001	,006	,002
N-D 300-350	-,010	7	,992	,000	,007	,002
N-D 350-400	,730	7	,489	,002	,007	,003
N-D 400-450	2,198	7	,064	,004	,005	,002
N-D 450-500	3,624	7	,008	,006	,005	,002
N-D 500-550	2,352	7	,051	,006	,008	,003
N-D 550-600	1,558	7	,163	,006	,010	,004
N-D 600-650	1,200	7	,269	,005	,012	,004
N-D 650-700	1,502	7	,177	,007	,012	,004
N-D 700-750	2,368	7	,050	,009	,011	,004
N-D 750-800	2,211	7	,063	,009	,011	,004

	t	ddl	Sig. (bilatéral)	Moyenne	Ecart type	Moyenne erreur standard
V-D 100-150	-,373	7	,720	-,001	,004	,002
V-D 150-200	1,016	7	,344	,001	,004	,001
V-D 200-250	2,270	7	,057	,004	,004	,002
V-D 250-300	2,167	7	,067	,004	,006	,002
V-D 300-350	2,905	7	,023	,007	,007	,002
V-D 350-400	4,533	7	,003	,011	,007	,002
V-D 400-450	5,638	7	,001	,015	,007	,003
V-D 450-500	5,918	7	,001	,018	,008	,003
V-D 500-550	7,447	7	,000	,021	,008	,003
V-D 550-600	7,972	7	,000	,022	,008	,003
V-D 600-650	6,555	7	,000	,022	,009	,003
V-D 650-700	5,596	7	,001	,022	,011	,004
V-D 700-750	5,361	7	,001	,021	,011	,004
V-D 750-800	4,351	7	,003	,018	,012	,004

# RÉFÉRENCES

- Aravena, P., Courson, M., Frak, V., Cheylus, A., Paulignan, Y., Deprez, V. et Nazir, T.A. (2014). *Action relevance in linguistic context drives word-induced motor activity*. *Frontiers in human neuroscience*, 8
- Aravena, P., Delevoye-Turrell, Y., Deprez, V., Cheylus, A., Paulignan, Y., Frak, V. et Nazir, T. (2012). *Grip force reveals the context sensitivity of language-induced motor activity during "action words" processing: evidence from sentential negation*. *PLoS One*, 7(12), e50287. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0050287>
- Casey, B.J., Jones, R.M. et Somerville, L.H. (2011). *Braking and Accelerating of the Adolescent Brain*. *Journal of Research on Adolescence*, 21(1), 21-33. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1532-7795.2010.00712.x>
- Desai, R.H., Binder, J.R., Conant, L.L., Mano, Q.R. et Seidenberg, M.S. (2011). *The neural career of sensory-motor metaphors*. *Journal of cognitive neuroscience*, 23(9), 2376-2386.
- Forsberg, H., Eliasson, A., Kinoshita, H., Johansson, R. et Westling, G. (1991). *Development of human precision grip I: basic coordination of force*. *Experimental Brain Research*, 85(2), 451-457.
- Forsberg, H., Kinoshita, H., Eliasson, A., Johansson, R., Westling, G. et Gordon, A. (1991). *Development of human precision grip. II. Anticipatory control of isometric forces targeted for object's weight*. *Experimental Brain Research*, 90(2), 393-398.
- Frak, V., Nazir, T., Goyette, M., Cohen, H. et Jeannerod, M. (2010). *Grip force is part of the semantic representation of manual action verbs*. *PLoS One*, 5(3), e9728. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0009728>



- Friederici, A.D. (2002). *Towards a neural basis of auditory sentence processing*. Trends in cognitive sciences, 6(2), 78-84.
- Guilbert, J., Jouen, F., Lehalle, H. et Molina, M. (2013). *Imagerie motrice interne et simulation de l'action chez l'enfant*. L'Année psychologique, 113(03), 459-488.
- Hauk, O., Johnsrude, I. et Pulvermüller, F. (2004). *Somatotopic Representation of Action Words in Human Motor and Premotor Cortex*. Neuron, 41(2), 301-307.  
[http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0896-6273\(03\)00838-9](http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0896-6273(03)00838-9)
- Hauk, O. et Tschentscher, N. (2013). *The body of evidence: what can neuroscience tell us about embodied semantics?* Frontiers in psychology, 4
- Jeannerod, M. et Frak, V. (1999). *Mental imaging of motor activity in humans*. Current opinion in neurobiology, 9(6), 735-739.
- Johansson, R.S. et Cole, K.J. (1992). *Sensory-motor coordination during grasping and manipulative actions*. Current opinion in neurobiology, 2(6), 815-823.
- Mazoyer, B., Zago, L., Jobard, G., Crivello, F., Joliot, M., Perchey, G., Mellet, E., Petit, L. et Tzourio-Mazoyer, N. (2014). *Gaussian mixture modeling of hemispheric lateralization for language in a large sample of healthy individuals balanced for handedness*.
- Mestres-Missé, A., Rodriguez-Fornells, A. et Münte, T.F. (2010). *Neural differences in the mapping of verb and noun concepts onto novel words*. NeuroImage, 49(3), 2826-2835.
- New, B., Pallier, C., Ferrand, L. et Matos, R. (2001). *Une base de données lexicales du français contemporain sur internet: LEXIQUE™//A lexical database for contemporary french: LEXIQUE™*. L'année Psychologique, 101(3), 447-462.
- Oldfield, R.C. (1971). *The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory*. Neuropsychologia, 9(1), 97-113.
- Piaget, J. (1956). *Motricité, perception et intelligence*. Enfance, 9(2), 9-14.
- Price, C.J., Wise, R.J.S., Watson, J.D.G., Patterson, K., Howard, D. et Frackowiak, R.S.J. (1994). *Brain activity during reading The*



- effects of exposure duration and task. Brain, 117(6), 1255-1269. <http://dx.doi.org/10.1093/brain/117.6.1255>*
- Ramayya, A.G., Glasser, M.F. et Rilling, J.K. (2010). A DTI investigation of neural substrates supporting tool use. Cerebral Cortex, 20(3), 507-516.*
- Sakata, H. et Taira, M. (1994). Parietal control of hand action. Current opinion in neurobiology, 4(6), 847-856.*
- Tatjana A. Nazir, L.H., Quentin Moreau, Victor Frak, Anne Cheylus, Laurent Ott, Oliver Linderman, Martin Fischer, Yves Pauligman, Yvonne Delevoye. (2016). A simple Technique to Study Embodied Language Processes: The Grip-Force Sensor. Behavior Research Methods, BR-Org 15-137. R1*
- Toga, A.W., Thompson, P.M. et Sowell, E.R. (2006). Mapping brain maturation. Trends in Neurosciences, 29(3), 148-159. <http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.tins.2006.01.007>*
- Tunik, E., Rice, N.J., Hamilton, A. et Grafton, S.T. (2007). Beyond grasping: Representation of action in human anterior intraparietal sulcus. NeuroImage, 36, Supplement 2(0), T77-T86. <http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.03.026>*